

EPIDEMIOLOGIE DE *FUSARIUM CULMORUM* (W.G. SMITH) SACC. SUR BLÉ DANS LE SUD OUEST DE LA FRANCE.

Mécanismes et agents de dissémination des conidies

JUGNET M.P.(**), BARRAULT G. (*), CARON D. (**), et ALBERTINI L.(*)

(*)E.N.S.A. TOULOUSE, 145 Av de Muret.
31076 TOULOUSE CEDEX, FRANCE.

(**)I.T.C.F., 6 Chemin de la Côte Vieille. 31450 BAZIEGE, FRANCE.

RÉSUMÉ - Une étude de *Fusarium culmorum* sur blé a été réalisée en plein champ, dans le Sud ouest de la France (Baziège - Haute Garonne) durant deux années consécutives (1989, 1990). Son but a été de démontrer que les conidies remontent de la base vers l'épi et que les résidus de culture peuvent intervenir dans la contamination des épis. De plus, en 1989, la période où les épis ont été les plus sensibles aux attaques de fusariose (à l'anthèse) a été caractérisée par l'absence de pluie. Ainsi l'action du vent seul, a pu être appréciée. Au cours de l'année 1990, la pluie ayant prédominé durant l'anthèse, nous avons pu étudier son rôle dans la dissémination, d'une part directement par rejaillissement, et d'autre part, indirectement par augmentation de la sporulation et par libération des spores

ABSTRACT - *Fusarium culmorum* epidemiology was investigated in the field in the South West of France (Baziège - Haute Garonne) during two successive years (1989, 1990). The aim was to demonstrate that the conidia can move upwards, from the soil up to the ear, and that crop residues can be involved in the contamination of the ears. In 1989, at the time when the ears were most susceptible to blight (i.e., at anthesis), as no rainfall occurred, the effect of the wind could be assessed separately. In 1990, as rainfalls prevailed at the time of anthesis, the specific effects of rain, either directly, throughwater splash, or indirectly through increased sporulation and conidia release, could then be investigated.

Mots-clés: *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc., épidémiologie, conidies (dissémination), blé dur, blé tendre.

INTRODUCTION

Fusarium culmorum (W. G. Smith) Sacc. et *Fusarium graminearum* Schwabe, champignons pathogènes du blé, provoquent plusieurs types de dégâts: des manques à la levée (fonte de semis), des nécroses le long des racines ou à leur extrémité, des attaques sur la base des tiges ou des différents noeuds, des nécroses au niveau de la gaine et de la dernière feuille et enfin des attaques sur épis. C'est cette dernière manifestation de la maladie qui est la plus spectaculaire et qui crée le plus de dégâts jusqu'à 50 % de perte de rendement (Rapilly et al., 1973).

Or, si les conditions de température et d'humidité pour une contamination de l'épi de blé sont bien connues dans le cas de *F. graminearum* (Andersen, 1948) et moins bien dans le cas de *F. culmorum*, le processus de pollution des épis par les spores est encore quasiment ignoré (Sutton, 1982).

Des hypothèses concernant le rôle joué par le vent et/ou la pluie dans le processus de dissémination (vertical ou non) des conidies et/ou du mycélium ont été émises par Cook (1981) mais n'ont jamais été expérimentalement démontrées. Dans ce but, un programme de recherche a été mis en place en 1989 et 1990 dans le Sud-Ouest à la station de l'I.T.C.F. (Institut Technique des Céréales et des Fourrages) de Baziège (31). Il se propose d'étudier une possible contamination des épis de blé par des spores de *F. culmorum* provenant de la base de la tige ou du sol en rapport avec ces facteurs climatiques. La dissémination mycélienne proprement dite n'a pas été l'objet d'investigation car, aléatoire, elle est en outre difficile à imputer à l'une ou l'autre espèce de *Fusarium*, leurs mycéliums étant morphologiquement semblables.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

1) Dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite en plein champ, sur des variétés de blé sensibles à la fusariose mais résistantes aux autres maladies. Les variétés retenues en 1989 sont CAPDUR (blé dur), et GOELENT (blé tendre) et en 1990 CAPDUR seul. L'expérience est réalisée au stade le plus favorable pour une contamination de fusariose des épis de blé, c'est à dire à la floraison (anthèse), en mai (Andersen, 1948).

Afin d'étudier la dissémination sur une période climatique plus longue, l'expérimentation en 1989 est réalisée sur les deux variétés retenues (CAPDUR et GOELENT) fleurissant à des dates différentes.

Le dispositif mis en place comprend 3 blocs. Chaque bloc est pourvu de 4 parcelles élémentaires et de témoins adjacents. Une parcelle mesure (1x5) m.

2) L'inoculum

L'inoculum est apporté sous forme de bottillons de chaumes de blé contaminés pour simuler des résidus de culture colonisés. Cette paille a subi 2 stérilisations (autoclavages à 120°C) espacées de 24 heures afin d'éliminer toutes les contaminations secondaires. Elle est ensuite ensemencée à l'aide d'une suspension de spores de *F. culmorum* (concentration de l'ordre de 10^8 spores/ml) et placée sous U.V. en alternance jour-nuit (12H/12H) à 20°C durant 3 semaines pour favoriser la sporulation. La souche de *F. culmorum* utilisée est une souche isolée à partir d'un grain de blé contaminé (souche I.T.C.F. - SG3).

Afin de vérifier la remontée des conidies de *F. culmorum* dans chaque parcelle, les bottillons sont placés selon trois modalités: au niveau de l'épi, à 30 cm en dessous de l'épi, et à même le sol (tableau 1). La parcelle témoin a pour seules contaminations celles existant naturellement.

L'inoculum est placé dans les champs au début de la sortie des anthères, le 12/05/89 sur blé tendre (GOELENT) et le 18/05/89 et le 14/05/90 sur blé dur (CAPDUR).

| N° parcelle | Caractéristique des parcelles: hauteur de l'inoculum | Hauteur des rubans adhésifs sur chaque capteur de spores | |
|----------------|--|---|--|
| | | en 1989 | en 1990 |
| 1 | Pas d'inoculum (témoin) | - à 30cm en-dessous de l'épi - au niveau de l'épi | - au niveau du sol - à 30cm en-dessous de l'épi - au niveau de l'épi |
| 2 | Inoculum à 30cm au-dessous de l'épi | - à 30cm en-dessous de l'épi - ■ niveau de l'épi | - au niveau du sol - à 30cm en-dessous de l'épi - au niveau de l'épi |
| 3 | Inoculum à 30cm au-dessous de l'épi | - à 30cm en-dessous de l'épi - au niveau de l'épi | - à 30cm en-dessous de l'épi - au niveau de l'épi |
| 4 | Inoculum ■ niveau de l'épi (à 60cm) | | |

Tableau 1: Disposition du matériel expérimental.

3) Le marqueur végétal: les grains fusariés

Le dégât causé par la fusariose sur épi doit être analysé. En effet, il correspond d'une part à la contamination naturelle (apport exogène) et d'autre part à la contamination artificielle (bottillons de paille colonisés).

Nous avons employé la méthode de l'Association Nationale pour la Protection des Plantes (A.N.P.P., 1988, 1992) qui consiste à prélever 50 épis dans chaque parcelle élémentaire, à battre ces épis à la batteuse WALTER et WINTERSTEIGER, et à trier, sur 25g de grains prélevés au hasard dans l'échantillon, les grains sains des grains fusariés présentant une couleur blanche ou rosée.

Les résultats concernant l'attaque des grains à la suite des contaminations d'épis sont présentés dans les tableaux 2 à 4, sous la forme de pourcentages de grains fusariés; l'analyse statistique de ces résultats ■ été effectuée au moyen du test de Newman et Keuls (au risque $\alpha=0,05$).

4) Les capteurs de spores

Dans le cadre d'études épidémiologiques, le système de piégeage de spores couramment utilisé fonctionne par aspiration d'air (Hirst, 1952). Ce piégeage qui correspond à une étude quantitative globale sur une large aire, ne peut distinguer des surfaces parcellaires limitées et différemment traitées. Dans le cas d'une étude plus précise, des lames enduites de lanoline sont fréquemment utilisées (Gregory & Stedman, 1953); dans ce cas l'échantillonnage des conidies n'est alors pas réalisé dans toutes les directions; de plus, la lecture au microscope n'est pas aisée, la surface enduite n'étant pas uniformément plane.

Pour éviter ces problèmes et recueillir une meilleure information, nous avons mis au point et expérimenté un système inspiré de Roelfs et al. (1968) consistant à planter des tubes de verre verticalement dans le sol et à les entourer de rubans adhésifs double-face à différentes hauteurs (tableau 1). Ces rubans adhésifs permettent le piégeage des conidies; sur chacun d'eux est placé une marque qui situe le Sud et qui permet donc de repérer le niveau de capture des conidies en fonction de la direction du vent.

Après exposition, chaque ruban adhésif est placé sur une lame de verre, coloré au bleu Coton au lactophénol, et observé au microscope. Les spores sont d'abord identifiées grâce à leur forme en croissant et à leur taille (Messiaen et Cassini, 1968; Booth, 1971, 1977; Nelson et al., 1983) puis comptées. La surface analysée est de dimension constante (130 mm^2) puisque correspondant en hauteur à la largeur du ruban adhésif et en largeur à la circonférence du tube de verre. Les tubes de verre n'ont qu'un diamètre de 4 mm, Gregory (1951) ayant montré dans un type d'expérience similaire, que le rendement du piégeage de spores par bâton de verre collant est dans certaines limites en relation inverse avec son diamètre.

L'installation des capteurs est effectuée après celle de l'inoculum pour éviter des contacts inopportuns entre les deux. Dans les parcelles 2 et 3, les capteurs sont placés à proximité (0.5 cm) des bottillons pour vérifier la sporulation des pailles d'une part et étudier la dissémination verticale d'autre part. Par contre, dans la parcelle 4, le dispositif de piégeage de spores est conçu pour étudier la dispersion horizontale des conidies, d'épi en épi; dans le présent article, il n'est pas fait état de cette dispersion horizontale et seule est étudiée la contamination des épis.

Les relevés sont réalisés tous les 3 ou 4 jours la première année (mise au point des capteurs), sur blé dur du 18/05 au 30/05 et sur blé tendre du 12/05 au 15/06. En 1990, les relevés sont journaliers du 15/05 au 01/06 sur blé dur.

Les variables analysées sont les suivantes:

- Nombre moyen de spores captées (moyenne réalisée sur les 3 répétitions) en 1989 et 1990

- Pourcentage de spores disséminées en 1990 (rapport entre le nombre moyen de spores à une hauteur fixée et le nombre moyen de spores captées au niveau supérieur, selon les caractéristiques expérimentales du tableau 1).

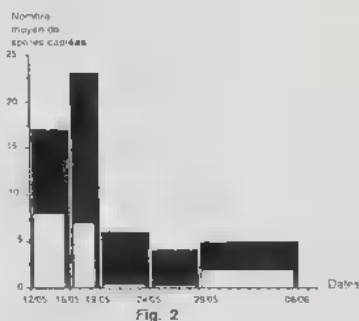
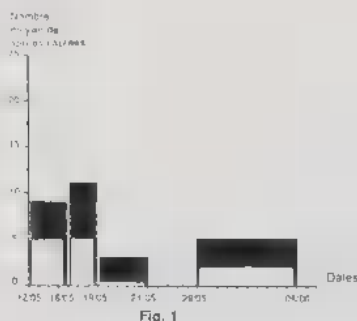
Les résultats essentiels concernant l'inoculum de *F. culmorum* et sa dispersion sont présentés, en 1989, sous la forme de représentations rectangulaires (nombre de spores de *F. culmorum* captées à différents niveaux (épi ou 30 cm sous l'épi) à partir d'inoculum sporulants, eux aussi différemment situés (sol ou 30 cm au dessus du niveau du sol); blé dur CAPDUR et blé tendre GOELEN; Fig. 1-4), et, en 1990, sous la forme de courbes marquant quantitativement l'évolution de la sporulation ou de la dissémination à différentes hauteurs des conidies du pathogène en fonction du positionnement de l'inoculum (CAPDUR, Fig. 5-8) et de droites de régression corrélant la sporulation et la dissémination avec certains facteurs climatiques (Fig. 9-11).

RÉSULTATS et DISCUSSION

1) Le pourcentage de grains fusariés

Les résultats obtenus en 1989 sur le blé tendre GOELEN et en 1989 et 1990 sur le blé dur CAPDUR sont concordants: les grains sont d'autant plus fusariés que

■ tendre (GOELEN) ■ Nombre moyen de spores captées à 30 cm en résidus de l'épi
 □ Nombre moyen de spores captées au niveau de l'épi



■ Blé dur (CAPDUR) ■ Nombre moyen de spores captées à 30 cm en résidus de l'épi
 □ Nombre moyen de spores captées au niveau de l'épi

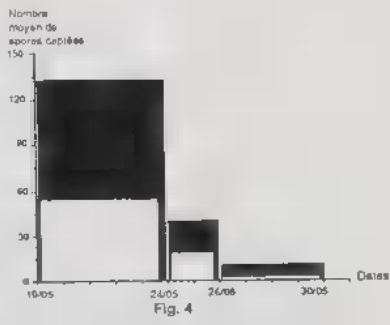
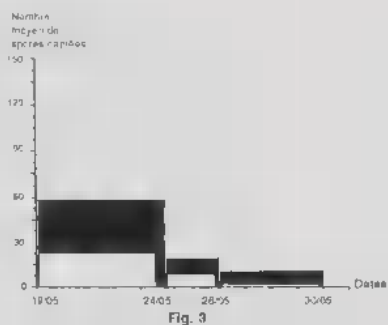


Fig. 1 à 4: Résultats de la dispersion verticale des conidies de *F. culmorum* en 1989. Fig. 1 et 3: l'inoculum se trouve au sol (sous forme de bétillon contaminé). Fig. 2 et 4: l'inoculum se trouve à 30cm sous l'épi (sous forme de bétillon contaminé). Le nombre moyen de spores captées sur la surface adhésive de 130mm².

l'inoculum est rapproché de l'épi (tableaux 2-4). L'analyse statistique des essais conduits à des écarts type faibles ($\sigma=0,01$ sur GOELEN, $\sigma=0,11$ sur CAPDUR en 1989 et $\sigma=0,15$ sur CAPDUR en 1990) ce qui signifie que ces essais sont satisfaisants au plan expérimental avec des résultats parcellaires répétitifs et fiables et que les différences significatives déterminées entre "traitements" (en l'occurrence, l'incidence de la position de l'inoculum) au moyen du test de Newman et Keuls ont une réalité patente.

| N° Parcelle | CARACTERISTIQUE | POURCENTAGE DE GRAINS FUSARIES | | | |
|-------------|---|--------------------------------|--------|--------|----------|
| | | BLOC 1 | BLOC 2 | BLOC 3 | MOYENNE |
| 1 | Témoin (pas d'inoculum) | 0 | 0 | 0 | 0,00 (a) |
| 2 | Inoculum au sol | 0,23 | 0,21 | 0,23 | 0,22 (b) |
| 3 | Inoculum ■ 30 cm en dessous de l'épi | 0,22 | 0,21 | 0,22 | 0,21 (b) |
| ■ | Inoculum au niveau de l'épi | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,44 (c) |

Tableau 2 : Pourcentage de grains fusariés obtenus dans l'essai blé tendre (GOELENT) en 1989

| N° Parcelle | CARACTERISTIQUE | POURCENTAGE DE GRAINS FUSARIES | | | |
|-------------|---|--------------------------------|--------|--------|----------|
| | | BLOC 1 | BLOC 2 | BLOC 3 | MOYENNE |
| 1 | Témoin (pas d'inoculum) | 0 | 0,15 | 0 | 0,05 (a) |
| 2 | Inoculum au sol | 0,44 | 0,51 | 0,26 | 0,40 (b) |
| 3 | Inoculum à 30 cm en dessous de l'épi | 0,45 | 0,38 | 0,29 | 0,37 (b) |
| 4 | Inoculum au niveau de l'épi | 0,94 | 1,3 | 0,78 | 1,01 (c) |

Tableau 3 : Pourcentage de grains fusariés obtenus dans l'essai blé dur (CAPDUR) en 1989.

| N° Parcelle | CARACTERISTIQUE | POURCENTAGE DE GRAINS FUSARIES | | | |
|-------------|---|--------------------------------|--------|--------|----------|
| | | BLOC 1 | BLOC 2 | BLOC 3 | MOYENNE |
| 1 | Témoin (pas d'inoculum) | 0 | ■ | 0 | 0,00 (a) |
| 2 | Inoculum au sol | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 (b) |
| 3 | Inoculum ■ 30 cm en dessous de l'épi | 0,5 | 0,68 | 0,43 | 0,54 (b) |
| 4 | Inoculum au niveau de l'épi | 2,04 | 1,82 | 1,55 | 1,80 (c) |

Tableau 4 : Pourcentage de grains fusariés obtenus dans l'essai blé dur (CAPDUR) ■ 1990.

a, b, c, : groupes homogènes d'après Newman-Keuls (au risque $\alpha = 5\%$)

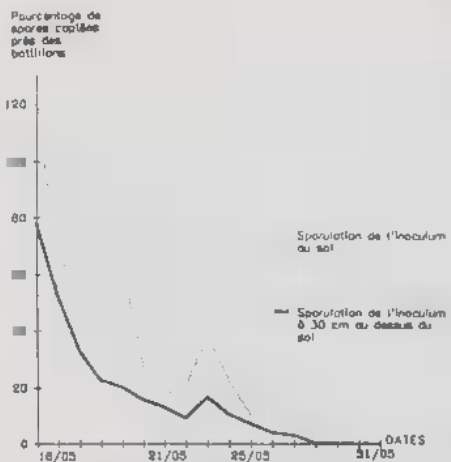


Figure 5 : Evolution de la sporulation des bottillons de paille contaminée au cours du temps et en fonction de leur position (au sol ou à 30 cm au dessus de l'épi). Les capteurs sont placés au même niveau que l'inoculum.

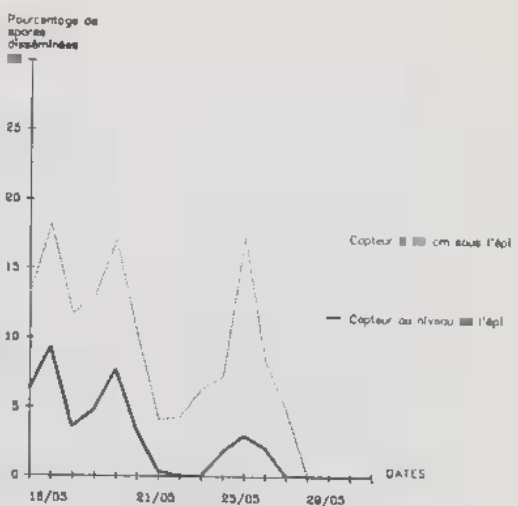


Figure 6 : Dissemination des conidies au mois de mai 1990, du sol jusqu'à 30 cm sous l'épi et du sol vers l'épi. L'inoculum se trouve au sol (sous forme de battillon de paille contaminée).

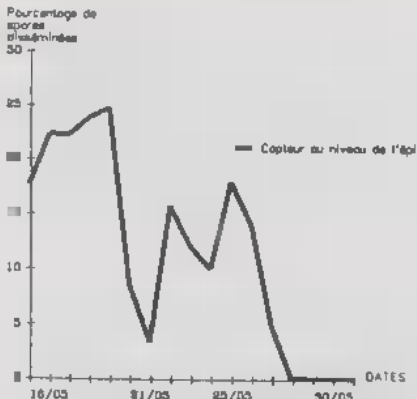


Figure 7 : Dissemination des conidies au mois de mai 1990 : l'inoculum se trouve à 30 cm au dessus du sol (sous forme de battillon de paille contaminée).

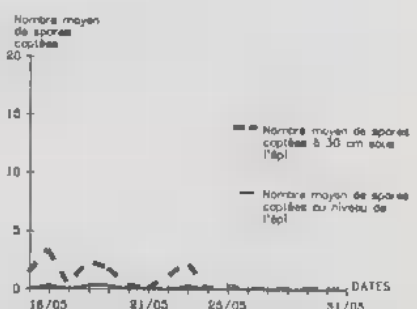


Figure 8 : Nombre moyen de spores captées à 30 cm au dessus et au niveau de l'épi dans la parcelle témoin (sans inoculum artificiel) au mois de mai 1990.

Fig. 5 à 8: Résultats de la dispersion verticale des conidies de *F. culmorum* en 1990, sur blé dur (CAPDUR). Le nombre moyen de spores captées correspond à la moyenne sur 3 répétitions du nombre de spores captées sur la surface adhésive de 130mm².

L'analyse de variance met en évidence 3 groupes:

- a) le témoin où la contamination est presque nulle,
- b) la parcelle où l'inoculum est au sol et celle où l'inoculum est à 30 cm sous l'épi,

- c) la parcelle où l'inoculum est au niveau de l'épi, et où la contamination est maximale. Les bottillons de paille fusariée interviennent dans la contamination des épis et leur position influe sur le niveau des dégâts observés sur grain. On peut donc en conclure que:

- la présence de résidus contaminés au sol est une source potentielle d'inoculum pour la contamination des épis.

- la colonisation verticale des tiges en végétation par *F. culmorum* paraît favoriser très vraisemblablement la contamination des épis, autrement dit, plus les noeuds supérieurs sont atteints, plus le risque d'obtenir un pourcentage de grains fusariés apparaît élevé.

A l'issue de cette expérimentation, on peut se demander, d'une part, s'il y a réellement un lien entre la contamination de la tige et celle de l'épi et d'autre part, si une souche apte à coloniser la tige peut réellement provoquer des dégâts sur épis. Les réponses à ces deux questions semblent positives à la considération d'observations complémentaires récentes (non publiées). Cependant, dans les conditions normales de cultures de blé au champ et lors d'attaques des épis au stade de leur sensibilité maximale (à la floraison), le pathogène est-il alors présent sur tige? Une telle question, actuellement sans réponse, fera l'objet de recherches ultérieures.

Les conidies produites sur les bottillons de pailles sont-elles essentielles dans la contamination des épis? L'analyse des capteurs va nous permettre d'apprécier la dissémination des conidies à partir de ces bottillons sporulants placés au sol ou à 30 cm au dessus du sol et, par conséquent, d'apprécier leur rôle dans l'attaque des épis.

2) le piégeage de spores

La période du 12/05 ■ 15/06 est surtout caractérisée en 1989 par une pluviométrie faible: des pluies ne dépassant pas 5 mm apparaissent le 30/05 après une longue période de sécheresse (19 jours) et ne durent que 4 jours alors qu'en 1990 les pluies sont abondantes et régulières (Fig. 12 en annexe climatique). Par conséquence, les humidités minimales et maximales sont supérieures en 1990 à celles de 1989 (Fig. 13). D'autre part, les températures et la vitesse du vent dans l'ensemble, sont plus élevées pendant l'expérimentation menée en 1989 (Fig. 14 et 15).

a/ En 1989

En raison de relevés espacés de 3 à 4 jours, nous avons adopté la figuration rectangulaire (Fig. 1-4). La base du rectangle correspond à la durée du relevé et sa hauteur au nombre moyen de spores captées (moyenne effectuée sur 3 répétitions). Sur les capteurs des parcelles témoins, aucune spore n'est piégée durant le mois de mai 1989 et au delà; l'inoculum naturel de *F. culmorum* est pratiquement absent dans les parcelles expérimentales. Dans les parcelles inoculées artificiellement, une remontée des conidies de *F. culmorum* est observée (Fig. 1 à 4): cette dissémination verticale n'avait jusqu'à ce jour jamais été démontrée. Une autre constatation s'impose aussi: la diffusion latérale de l'inoculum est dans cette expérimentation au champ en 1989, pratiquement nulle puisque les parcelles témoins demeurent indemnes de spores malgré la présence de vent quasiment journalière.

En 1989, nous avons commencé à cerner l'incidence des différentes données climatiques (températures maximale et minimale, humidités relatives maximale et minimale, pluviométrie) sur le piégeage des spores de *F. culmorum* étalé sur 3 à 4 jours. La considération des résultats permet de mettre en relief les faits suivants:

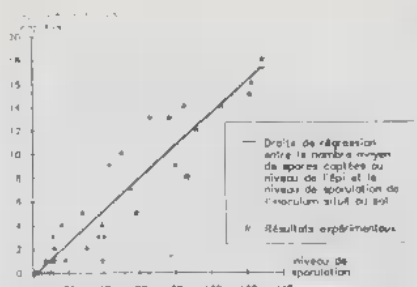


Fig 9 : Corrélation entre le niveau de sporulation de l'inoculum situé au sol et le nombre moyen de spores captées à 30 cm au dessus de l'épi. Elle a pour équation : $0,13x - 0,16$ ($R^2=0,89$)

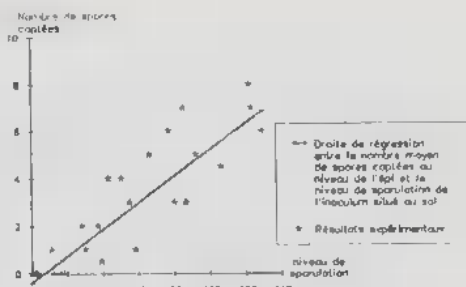


Fig 10 : Corrélation entre le niveau de sporulation de l'inoculum situé au sol et le nombre moyen de spores captées au niveau de l'épi. Elle a pour équation : $0,08x - 0,40$ ($R^2=0,78$)

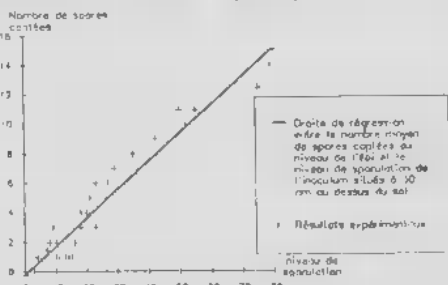


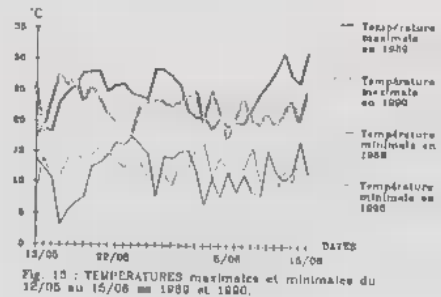
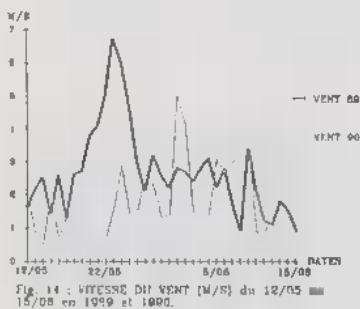
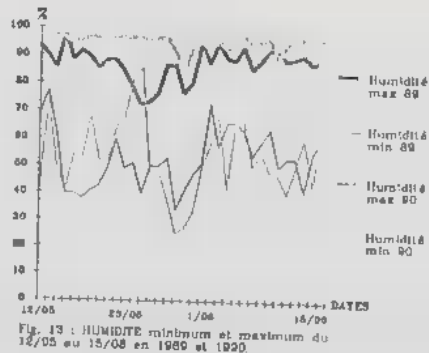
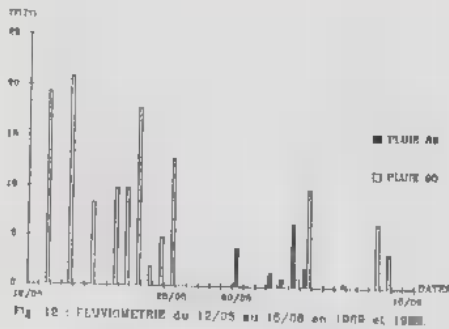
Fig 11 : Corrélation entre le niveau de sporulation de l'inoculum situé à 30 cm au dessus de l'épi et le nombre moyen de spores captées au niveau de l'épi. Elle a pour équation : $0,19x - 0,27$ ($R^2=0,94$)

- Bien que l'essai blé dur (CAPDUR) ait été conduit en absence totale de pluie (les premières précipitations ayant eu lieu le 30 mai dans l'après midi, alors que l'essai se terminait le 30 mai au matin - Fig. 12 en annexe climatique), la dissémination verticale, dirigée vers le haut, a cependant eu lieu, dans les parcelles pourvues de bottillons colonisés par *F. culmorum*. La pluie ne semble donc pas être la condition nécessaire à la dissémination verticale.

- Le contrôle de la sporulation des pailles (et de la disponibilité de l'inoculum) au moyen du piégeage effectué par le ruban adhésif situé au niveau de l'inoculum (bottillon de paille situé à 30 cm au dessous de l'épi) a permis de noter, chez la variété GOLENT (Fig. 2), un accroissement (du 12 au 19/05), suivi d'une diminution (du 20 au 29/05) puis d'un nouvel accroissement (du 30/05 au 8/06) de la sporulation; ces variations sont en relation directe avec celles de l'humidité relative minimale et de la pluviométrie; ainsi, l'accroissement de la sporulation situé du 30/05 au 08/06 dans l'essai GOLENT est en rapport direct avec le développement d'une période de pluie (Fig. 2). Dans les phases de sécheresse, la conidiogénèse et la disponibilité de l'inoculum s'estompe progressivement, comme l'a montré l'expérimentation sur CAPDUR qui s'achevait le 30/05 (Fig. 4).

- Le résultat du repérage des spores sur les rubans adhésifs montre que 90 % des conidies sont situées dans la zone adhésive correspondant à la direction des vents dominants du mois de mai (essentiellement vent du Sud Est, appelé vent d'Autan): le vent semble donc être un vecteur important de dissémination verticale des conidies de *F. culmorum*.

ANNEXE CLIMATIQUE (1989-1990)



b/ En 1990

L'étude de l'évolution de la sporulation et de la dissémination des conidies en fonction des mêmes facteurs climatiques a été reprise avec plus de précision en 1990 pour vérification et, si possible, approfondissement. Les résultats expérimentaux ont donné lieu à une étude descriptive et à une analyse statistique.

α) L'étude descriptive

Les courbes (Fig. 5 à 8) présentant les différents résultats expérimentaux permettent la mise en évidence des faits suivants:

- La présence d'un très faible inoculum conidien de *F. culmorum* dans les parcelles témoins (Fig. 8) au cours du mois de mai 1990; l'inoculum conidien (naturel) ne sera donc pas pris en compte dans l'interprétation statistique des résultats.

- L'influence de la position en hauteur des bottillons de paille sur leur niveau de sporulation (Fig. 5); le nombre moyen de spores captées est plus élevé au sol qu'à

30 cm au dessus du sol, quel que soit le jour du relevé. Il apparait donc que les conditions de température et d'humidité existant au niveau du sol sont plus favorables que celles situées à + de 30 cm à la conidiogénèse de *F. culmorum* sur paille.

- Une évolution assez parallèle de la dissémination vers le haut quelles que soient la position en hauteur de l'inoculum et la distance parcourue par les conidies (maxima et minima de dissémination aux mêmes dates sur les 3 courbes, dans les figures 6 et 7); faisons notamment remarquer la grande similitude des courbes (avec pourcentages de même ordre) de la dissémination vers le haut (à 30 cm de distance) des inoculums issus du sol (courbe supérieure Fig. 6), ou d'une position à 30 cm au dessus du sol (Fig. 7).

β) L'analyse statistique

Une analyse statistique mettant en corrélation le climat et le nombre ou le pourcentage de spores captées permet de préciser les conditions favorables et les agents responsables de ce mécanisme. Puisqu'il s'agit de prédire une variable (nombre ou pourcentage de spores captées) en fonction d'un certain nombre de paramètres (principalement des paramètres climatiques), nous réaliserons une régression linéaire simple ou multiple. Les résultats essentiels de cette analyse résumés au tableau 5 sont les suivants:

+ Pour la **sporulation** dans les bottillons de pailles (quelle que soit leur position), la meilleure régression a été obtenue par deux variables explicatives la température maximale et l'humidité minimale présentant un effet linéaire significatif au seuil $\alpha=5\%$. En effet, le coefficient de corrélation R^2 entre, d'une part, le nombre moyen de spores captées à la même hauteur que l'inoculum et la température maximale et l'humidité minimale journalières de la période concernée (12/05 - 15/06/90) d'autre part, est significativement élevé ($R^2=0,90$). Ainsi, peut-on remarquer l'arrêt de la sporulation vers le 27-28/05/90 en correspondance avec un arrêt de la dissémination (Fig. 5, 6 et 7) lorsque l'humidité relative minimale s'effondre au-dessous de 45 à 50%; ainsi encore peut-on noter un regain de sporulation (23-24/05) et de dissémination (25/05/90) lorsque l'humidité relative minimale est supérieure à 80% (Fig. 5, 6, 7). Ceci suggère notamment que le niveau de sporulation des pailles au sol ou à proximité est étroitement lié à ces deux facteurs climatiques. Ces résultats confirment les observations réalisées en 1989.

- D'autre part, il n'existe pas de corrélation entre la sporulation et l'humidité moyenne ou maximale (les R^2 sont voisins de zéro). Ceci montre toute l'importance des variations de l'humidité relative minimale sur la sporulation de *F. culmorum* sur paille; d'autre part cela suggère qu'il existe un seuil d'humidité relative en dessous duquel la sporulation ne peut se réaliser.

Rapilly et al. (1973) ont observé une production sporale accrue sur toutes les parties de la plante parasitée dès que la température dépasse 10°C et l'humidité relative voisine de 80%. D'autres auteurs (Sprague, 1948; Cook, 1968, 1981; Sung et Cook, 1981) ont noté que le développement de *F. culmorum* pouvait être favorisé par un stress hydrique. Nos observations, effectuées dans des conditions expérimentales assez différentes, ne sont pas fondamentalement contradictoires avec celles de ces auteurs: la sporulation peut être observée à des humidités relatives assez basses (seuil de 45 à 50%) mais elle apparait favorisée par des humidités relatives élevées (supérieures à 80%).

- A notre connaissance, l'action de la température sur la conidiogénèse de *F. culmorum* n'a jamais été précisément étudiée. En général, les travaux reposant sur la production de spores de ce pathogène prennent pour référence l'étude réalisée par

| Variable à prédire | Caractéristiques de la variable à prédire | | Régressions | Corrélation partielle | Corrélation multiple | Corrélation simple |
|--|---|--------------------------|--|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | Hauteur ■ l'inoculum | Hauteur du capteur | | | | |
| Niveau de sporulation de l'inoculum au sol | au sol | au sol | T° max Humidité min | 0,56 * | 0,9 * | |
| Niveau de sporulation de l'inoculum à 30 cm ■ dessus ■ sol | à 30 cm au dessus du sol | à 30 cm ■ dessus du sol | T° max Humidité min | 0,57 * | 0,88 * | |
| Nombre moyen de spores captées au niveau de l'épi | au sol | à 30 cm au dessus du sol | Niveau de sporulation de l'inoculum au sol | | | 0,91 * |
| | au sol | au niveau de l'épi | Niveau de sporulation de l'inoculum au sol | | | 0,84 * |
| | à 30 cm au dessus du sol | au niveau de l'épi | Niveau de sporulation de l'inoculum à 30 cm au dessus du sol | | | 0,94 * |
| Pourcentage de spores disséminées du sol à 30 cm ■ dessus du sol | au sol | à 30 cm au dessus du sol | Vent | | | 0,20 |
| | | | Pluie | | | 0,15 |
| Pourcentage de spores disséminées du sol vers l'épi | au sol | au niveau de l'épi | Vent | | | 0,14 |
| | | | Pluie | | | 0,06 |
| Pourcentage de spores disséminées de 30 cm au dessus du sol vers l'épi | à 30 cm au dessus du sol | au niveau de l'épi | Vent | | | 0,25 * |
| | | | Pluie | | | 0,02 |

Tableau 5: Récapitulatifs des différentes régressions réalisées sur les résultats du piégeage de spores de *F. culmorum* en 1990 en fonction des paramètres climatiques.

* Valeur significative ■ seuil $\alpha = 0,005$.

Andersen (1948). Cet auteur met en évidence in vitro une production de conidies importante entre 28°C et 32°C, peu de conidies produites en dessous de 16°C et aucune au dessus de 36°C; en serre, sur blé contaminé, il observe une sporulation entre 15°C et 30°C, avec un maximum à 25°C. Cependant ces recherches concernent *F. graminearum* et il est peu vraisemblable que ces conditions de conidiogénèse correspondent exactement à celles de *F. culmorum*, même si les deux parasites ont des comportements voisins. Cette étude mériterait d'être réalisée.

+ **Le nombre moyen de spores captées** (ou disséminées) au niveau de l'épi et à 30 cm en dessous est étroitement lié au niveau de sporulation et ceci quelle que soit la position de l'inoculum (tableau 5 - Fig. 9 à 11). La dissémination des conidies de *F. culmorum* est donc fonction du potentiel d'inoculum et est corrélée aux conditions climatiques favorisant la sporulation.

+ Nous avons cherché à identifier la variable climatique la plus étroitement corrélée au **pourcentage moyen de spores disséminées**. Les coefficients de corrélation entre les variables prises deux à deux ont été obtenus (tableau 5). Le vent est le seul facteur climatique présentant un r faible mais significatif ($\alpha=5\%$) lorsque l'inoculum est à 30 cm au dessus du sol. Même le rôle de la pluie souvent citée dans la bibliographie (Rapilly et al., 1973; Cook, 1981) comme participant à la dissémination (par rejaillissement) en raison de la nature hydrophile des conidies, n'est pas prouvé dans cette étude. La pluie ne semblerait donc pas intervenir directement dans le transport des conidies.

L'expérience étant réalisée en plein champ et donc en présence de nombreux facteurs non contrôlés, pouvant inter-agir entre eux, seules parfois certaines tendances peuvent être dégagées. C'est l'exemple de l'action du vent dans notre expérimentation. Les résultats du repérage des conidies sur les rubans adhésifs sont identiques à ceux obtenus en 1989. Ceci souligne encore son rôle dans le transport des conidies. C'est pourquoi nous pensons que le vent est l'agent susceptible de disséminer les spores de *F. culmorum*.

CONCLUSION

Nos recherches nous ont permis de démontrer l'existence d'une dissémination verticale (du sol vers le haut) des conidies et son rôle dans la contamination des épis de blé.

Ainsi alors que Warren & Kommedahl en 1973 et Wearing & Burgess en 1977 mettaient déjà en évidence l'importance des résidus de culture dans la contamination de la tige, l'ensemble de nos résultats ont montré qu'ils sont aussi une source d'inoculum pour la contamination des épis. C'est cette dernière manifestation qui provoque le plus de dégâts (50% de perte de rendement) et il n'existe pas de fongicide réellement efficace (seul le tébuconazole a une efficacité de 60% appliqué à l'épiaison et de 80% en pleine floraison). Des pratiques culturales seront donc principalement envisagées afin de lutter contre ce pathogène: le labour profond, l'enfouissement des pailles ou les rotations avec des cultures autres que le maïs (Teich & Hamilton, 1985; Sturz & Bernier, 1989).

La dissémination des spores de *F. culmorum* ne semble possible qu'à partir d'un certain niveau d'inoculum qui est lui même fonction de caractères climatiques particuliers (prise en compte de la température maximale journalière et d'un seuil d'humidité relative minimale de l'ordre de 60%). Une étude de l'action de ces facteurs sur la conidiogénèse de ce pathogène sur paille apporterait des renseignements complémentaires sur cette phase épidémiologique.

La pluie n'aurait qu'une action secondaire dans la dissémination du sol vers l'épi et elle interviendrait plutôt par le biais de l'élévation de l'humidité minimale favorable à la sporulation et peut-être aussi, par un certain effet de rejaillissement lorsqu'elle a un caractère orageux (cela reste à vérifier par des expériences de pluies artificielles). En revanche, le vent semblerait être l'agent actif de la dissémination. Cet aspect demande à être confirmé par une étude similaire mais comportant des relevés moins espacés ou par une expérience conduite en serre ou en phytotron et utilisant un appareillage simulant un vent artificiel et ses à-coups.

Les auteurs remercient J. P. LACOMBE (Laboratoire d'Ingénierie Agronomique, E.N.S.A. Toulouse) pour son aide concernant l'analyse statistique des résultats obtenus en 1990.

BIBLIOGRAPHIE

- A.N.P.P., groupe fusariose des épis. 1988 - Evaluation des dégâts causés par la fusariose (*Fusarium roseum* Link) de l'épi sur le blé. C. R. deuxième conférence internationale sur les maladies des plantes.
- A.N.P.P., Commission des Essais Biologiques. 1992 - Méthode d'étude de l'efficacité au champ des produits fongicides destinés à lutter contre la fusariose des épis des céréales (*Fusarium roseum* Link). N° 150.

- ANDERSEN A.L., 1948 - The development of *Gibberella zeae* headblight of wheat. *Phytopathology* 38: 595-611.
- BOOTH C., 1971 - *The Genus Fusarium*. Kew, Surrey, CMI. 237 pp.
- BOOTH C., 1977 - *Fusarium. Laboratory guide to the identification of the major species*. Kew, Surrey, CMI. 58p.
- COOK R.J., 1968 - Fusarium root and foot rot of cereals in the Pacific Northwest. *Phytopathology* 58: 127-131.
- COOK R.J., 1981 - Fusarium diseases of wheat and other small grains in North America. In: P.E. Nelson, T. A. Toussoun, and R. J. Cook. *The Genus Fusarium*. Pennsylvania State University Press, University Park. In press.
- GREGORY P.H., 1951 - Deposition of air-borne Lycopodium spores on cylinders. *Ann. Appl. Biol.* 38: 357.
- GREGORY P.H. and STEDMAN O.J., 1953 - Deposition of air-borne Lycopodium spores on plane surfaces. *Ann. Appl. Biol.* 40: 651.
- HIRST J. M., 1952 - An automatic volumetric spore trap. *Ann. Appl. Biol.* 39, 257.
- MESSIAEN C.M. et CASSINI R., 1968 - Recherche sur les fusarioses. IV - La systématique des *Fusarium*. *Ann. Epiphyties* 19: 387-454.
- NELSON P. E., TOUSSOUN T. A. and MARASAS W. F. O., 1983 - *Fusarium species. An Illustrated Manual for Identification*. The Pennsylvania State University Press, 193p.
- RAPILLY F., LEMAIRE J.M. et CASSINI R., 1973 - Les principales maladies cryptogamiques des céréales. Ed. I.N.R.A. et I.T.C.F., 189 p.
- ROELFS A.P., DIRKS V.A. and ROMIG R.W., 1968 - A comparison of rod and slide samplers used in cereal rust epidemiology. *Phytopathology* 58: 1150.
- SCHWARZBACH E., 1979 - A high throughput jet trap for collecting mildew spores on living leaves. *Phytopathol. Z.* 94: 165-171.
- SPRAGUE R., 1948 - Rootrots and footrots of cereals in Washington. *Agric. Exp. State Popular Bull.* 192, 18p.
- STURZ A. V. and BERNIER C.C., 1989 - Influence of crop rotations on winter wheat growth and yield in relation to the dynamics of pathogenic crown and root rot fungal complexes. *Canad. J. Pathol.* 11: 114-121.
- SUNG J.M. and COOK R.J., 1981 - Effect of water potential on reproduction and spore germination by *Fusarium roseum* 'Graminearum' Culmorum' and 'Avenaceum'. *Phytopathology* 71: 499-504.
- SUTTON J.C., 1982 - Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canad. J. Plant Pathol.* 4: 195-209.
- TEICH A.H. and HAMILTON J.R., 1985 - Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium, and pH on the incidence of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in wheat. *Appl. Environ. Microbiol.* 49: 1429-1431.
- WARREN H.L. and KOMMEDAHL T., 1973 - Fertilization and wheat refuse effects on fusarium species associated with wheat root in Minnesota. *Phytopathology* 63: 103-108.
- WEARING A.H. and BURGESS L.W., 1977 - Distribution of *fusarium roseum* 'Graminearum' Group I and its mode of survival in eastern Australian wheat belt soils. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 69: 429-442.